

Ю.А. СТЕПНОВА, Ю.В. ГЕНСИОРОВСКИЙ, В.А. ЛОБКИНА,
Л.Е. МУЗЫЧЕНКО, А.А. МУЗЫЧЕНКО, А.А. ОРЕХОВ,
А.А. СТЕПНОВ, А.В. КОНОВАЛОВ

Активизация экзогенных геодинамических процессов на юге Приморского края 27–28 августа 2019 г.

Рассмотрено влияние атмосферных осадков на активизацию экзогенных геодинамических процессов (ЭГП) в пределах урбанизированных территорий юга Приморского края.

Основные факторы активизации ЭГП в исследуемом районе – режим, интенсивность, продолжительность и суммарное количество осадков. Триггером, запускающим процесс селе-оползнеобразования, является выпадение интенсивных ливневых дождей, приносимых на территорию Приморья в июле–сентябре тайфунами и тропическими циклонами. Массовое проявление ЭГП на территории Приморья возможно при суточных максимумах осадков, превышающих 70 мм. Период повторяемости явлений катастрофического характера, спровоцированных осадками, составляет 1–3 года. Детально задокументированы последствия массовой активизации ЭГП во время циклона 27–28 августа 2019 г. в южной части Приморского края.

Ключевые слова: Приморский край, антропогенные факторы, опасные геодинамические процессы, осадки.

Exogenous geodynamic processes activation in the south of Primorsky Krai in August 27–28, 2019. Yu.A. STEPNOVA¹, Yu.V. GENSIOREVSII¹, V.A. LOBKINA¹, L.E. MUZYCHENKO¹, A.A. MUZYCHENKO¹, A.A. OREKHOV², A.A. STEPNOV¹, A.V. KONOVALOV¹ (¹Far East Geological Institute, FEB RAS, Sakhalin department, Yuzhno-Sakhalinsk, ²Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The problem of atmospheric precipitation effect on exogenous processes activation (EPA) within the south of Primorsky Krai urban territories is reviewed in this paper.

The main EPA factors in the investigated area are: regime, intensity, duration and total amount of precipitation. The trigger initiating the landslide and mudflow processes is intense heavy rains occurrence during typhoons and tropical cyclones over Primorye Territory in July–September. The mass EPA occurrence is possible when precipitation daily maximum exceeds 70 mm. The catastrophic event frequency triggered by precipitation is 1–3 years. Consequences of mass EPA during the cyclone in August 27–28, 2019 over the south of Primorye are well documented.

Key words: Primorsky Krai, anthropogenic factors, dangerous geodynamical processes, precipitation.

*СТЕПНОВА Юлия Андреевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ГЕНСИОРОВСКИЙ Юрий Витальевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ЛОБКИНА Валентина Андреевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, МУЗЫЧЕНКО Леонид Евгеньевич – ведущий инженер, МУЗЫЧЕНКО Александра Александровна – младший научный сотрудник, СТЕПНОВ Андрей Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, КОНОВАЛОВ Алексей Валерьевич – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, Южно-Сахалинск), ОРЕХОВ Александр Александрович – младший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: stepnova@fegi.ru

Введение

Урбанизация, как в мире, так и в России, приводит к интенсивному строительству на городских территориях. Потребность в увеличении жилых территорий вынуждает уплотнять застройку, использовать под нее участки, не всегда благоприятные в инженерно-геологическом отношении: оползне-селеопасные, подтопленные и заболоченные, а также поймы рек. В городах с ограниченными возможностями расширения территорий происходит изменение ландшафтов, рельефа, микроклимата, гидрологических характеристик водных объектов, инженерно-геологических характеристик горных пород, слагающих территорию. Таким образом, усиливается сосредоточенное воздействие на геологическую среду и возрастает вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций природно-антропогенного характера. В настоящее время экзогенные геодинамические процессы (ЭГП) – оползни, сели, суффозия и другие, вызванные вышеприведенными факторами, чрезвычайно широко регистрируются в мире [4, 6, 7, 11]. Интенсивность их проявления увеличивается, в том числе в связи с изменениями климата [5]. Проблемы урбанизированных территорий усугубляются еще и тем, что в их пределах наряду с природными широко развиты принципиально новые опасные техногенно-природные процессы в земной коре, спровоцированные хозяйственной деятельностью человека. Кроме того, под ее влиянием активизируются такие природные процессы и явления, как подтопление, оползнеобразование, обвалы, просадки, эрозия, абразия и т.д. Все это приводит к увеличению вероятности развития опасных ситуаций [3].

Статистика по вызванным дождями экзогенным геодинамическим процессам на антропогенной территории достаточно неутешительна; как правило, они приводили к значительному ущербу и гибели людей [12, 13].

В г. Владивосток (Приморский край) в последние годы участились случаи массового схода оползней, вызванных выпадением интенсивных ливневых осадков. Событие 27–28 августа 2019 г., рассмотренное в данной работе, характеризуется выпадением не самого большого объема осадков, тем не менее они нанесли значительный ущерб инфраструктуре Владивостока и ряда других населенных пунктов Приморского края. Данное событие удалось детально задокументировать.

В связи с начавшимся в последние годы активным строительством, особенно в районах с развитой инфраструктурой, уплотненной застройкой, а также в черте населенных пунктов Дальнего Востока РФ, все большую актуальность приобретает необходимость оценки проявления опасных экзогенных геодинамических процессов на территории городов.

Интерес для исследователей представляет непосредственно определение количества осадков, необходимое для того, чтобы вызвать разрушение склонов. Анализ информации о рассмотренных явлениях позволит проанализировать и, возможно, предупредить новые случаи массового проявления ЭГП на антропогенно-измененных территориях.

Район исследования

Исследуемая территория имеет преимущественно горный рельеф, она относится к Сихотэ-Алинской и Восточно-Маньчжурской горным странам, разделенным долиной р. Раздольная. Морфологически район характеризуется как средне- и низкогорный с отметками 800–1000 м над ур. м. Равнинная часть территории представлена многочисленными речными долинами и вулканическим плато. Реки района впадают в зал. Петра Великого. Урбанизированная часть территории в основном расположена вдоль побережья Японского моря, береговая линия которого сильно изрезана. Климат в районе исследований муссонный, среднегодовая температура воздуха +5,7 °С. В летне-осенний период на территорию выходят тайфуны, приносящие обильные осадки, которые приводят

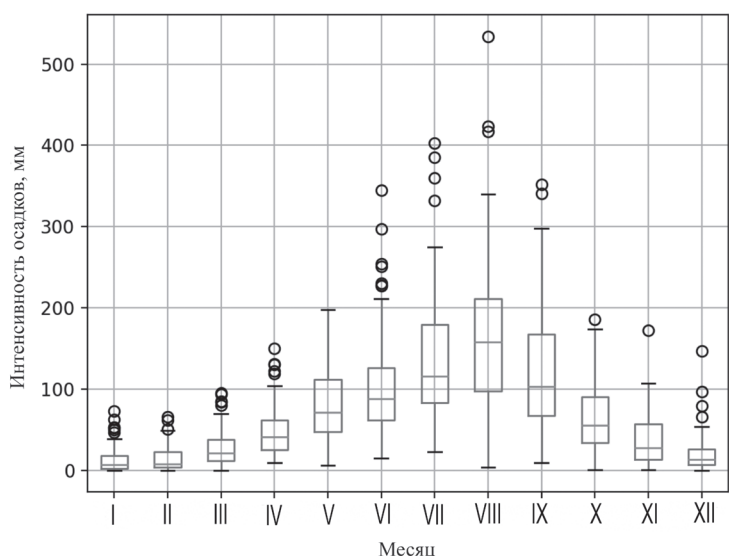


Рис. 1. Ежемесячное распределение интенсивности осадков в 1917–2019 гг. (по данным гидрометеостанции Владивосток)

к катастрофическим последствиям. Среднегодовое количество осадков на равнинных территориях около 600 мм, в горах – 1000 мм, в отдельные годы до 1500 мм. Большая часть осадков выпадает с апреля по октябрь. Максимальный уровень осадков приходится на август (рис. 1)¹.

Территория Приморского края в геологическом отношении – одна из наиболее интересных на Дальнем Востоке России: на относительно небольшой площади развиты осадочные породы всех геологических возрастов и различные магматические породы [9].

В пределах района исследования расположен г. Владивосток, морфология территории которого активно преобразуется во время строительных работ. Наличие большого количества подпорных (противооползневых) стенок подтверждает, что проблема защиты от ЭГП актуальна для города и близлежащих территорий.

Активизация ЭГП – сложный процесс, на который влияет комплекс факторов, таких как геология, геоморфология, сейсмические воздействия, осадки, деятельность человека и др. [1, 10, 14].

Цель настоящей работы – исследование активизации ЭГП на урбанизированных территориях юга Приморского края после выпадения здесь интенсивных осадков 27–28 августа 2019 г. Рассмотрены только факторы, повлиявшие на сход оползней и селевых потоков после выхода тайфуна в данном районе: литология (геология), грунтовые условия, угол естественного откоса, количественные характеристики осадков и антропогенное изменение территории.

Антропогенные факторы. Под антропогенным изменением территории, влияющим на активизацию ЭГП в пределах района урбанизации, мы понимаем следующее: изменение рельефа, связанное со строительством зданий и сооружений, прокладкой инженерной инфраструктуры, трассированием улично-дорожной сети (подрезка склонов, планировка территории, засыпка естественной речной сети, рытье котлованов для фундаментов и траншей для коммуникаций и т.д.); наличие на городских территориях больших объемов техногенных и антропогенных грунтов, т.е. грунтов со специфическими особенностями (неоднородность по составу, неравномерная сжимаемость, возможность самоуплотнения

¹ Справочно-информационный портал «Погода и климат». 2019. – <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 18.03.2020).

от собственной массы и под действием внешних источников, склонность к длительным изменениям структуры и свойств находящихся в разной степени уплотнения грунтов) [1].

Геология / литология. Современные склоновые процессы приурочены к неогеновым и четвертичным образованиям, которые благоприятны для их развития. На территории региона регулярно отмечаются сели и оползни природного и антропогенного характера.

Большая часть территории г. Владивосток сложена фанерозойскими стратифицированными терригенными, вулканотерригенными и вулканогенными породами, формирование которых происходило в морских, прибрежно-морских и континентальных условиях. Наиболее широко распространены пермские, триасовые и кайнозойские толщи [2].

Четвертичные отложения представлены элювиальными, элювиально-делювиальными, коллювиальными образованиями. Данные процессы, как правило, связаны с нарушениями квазиравновесия на склонах при участии гравитационных сил и формируются при благоприятных литологических и гидрогеологических условиях.

Грунты. На территории представлены следующие типы грунтов: скальные и дисперсные. Группа дисперсных грунтов (без жестких связей) развита широко и занимает примерно 2/3 площади территории (г. Владивосток) [8].

Для формирования оползней и селей важное значение имеет состав подстилающих пород. Наиболее благоприятным для формирования оползней является наличие глинистых и суглинистых отложений, играющих роль поверхности скольжения.

Экспозиция склона. Анализ экспозиции склона и проявлений оползневых процессов на исследуемой территории показывает, что основную опасность внутри урбанизированной территории представляют «подрезанные» склоны крутизной 10–15°, в естественном состоянии опасными будут являться склоны крутизной более 15°, наиболее опасными – крутизной от 40°.

Режим увлажнения. Стоит отметить два фактора, благоприятных для развития ЭГП на исследуемой территории:

1. На первую половину лета и вторую половину осени приходится обильное увлажнение, связанное с затяжными морозящими дождями, при которых вода просачивается на большую глубину (что обусловлено строением субстрата) и продолжительное время сохраняется в оползневом массиве.

2. На вторую половину лета и первую половину осени приходятся тропические циклоны и тайфуны, приносящие ливневые осадки.

Во время тайфунов ливневая канализация не справляется с объемом стока, и водные потоки текут по улицам, склоны при таких осадках избыточно переувлажнены и могут перейти в движение. Периодичность выхода тайфунов и количество приносимых ими осадков широко изменяется от года к году. В местах развития мощного делювиального шлейфа формируются напорные воды, которые во время тайфунов выходят на поверхность и присоединяются к наземным потокам [8]. Во время сильных тайфунов происходит размыв склонов, в результате чего нарушается их равновесие, и почвы приходят в движение, особенно активно – на подрезанных склонах. Процесс движения почв, таким образом, имеет прерывисто-непрерывный характер, сильно зависящий от режима увлажнения.

Исторический обзор

Период вероятного формирования оползней и селей в регионе начинается в мае и продолжается по ноябрь, однако их интенсивное формирование наблюдается с июля по сентябрь, что связано с прохождением глубоких циклонов и тайфунов, сопровождающихся выпадением большого количества осадков с высокой интенсивностью – до 200 мм за несколько часов (максимум зарегистрирован 7 августа 2001 г. во Владивостоке, за 2 ч выпало 205,5 мм). По данным метеорологических наблюдений, за минувшее столетие зафиксировано около 60 случаев выпадения осадков с превышающей 70 мм/сут

интенсивностью². Эта величина принята нами как критическая для активизации ЭГП. На диаграммах (рис. 2, *а*) отражены случаи, связанные с выходами тайфунов и тропических циклонов с осадками интенсивностью более 70 мм/сут. При наличии информации о критических осадках (14 случаев) в 1917–1946 гг. сведения об активизации оползней и селей отсутствуют, поэтому соответствующие данные за этот период на диаграмме (рис. 2, *б*) не отражены. В диаграмму включены только подтвержденные случаи формирования ЭГП в 1946–2019 гг.

С 1946 г. зафиксировано 46 случаев выпадения жидких осадков, количество которых превысило критическое значение 70 мм/сут. Активизация ЭГП отмечена в 20 случаях. Таким образом, период повторяемости массовой активизации ЭГП, спровоцированных осадками с катастрофическими последствиями для селитебных территорий Приморского края, составляет 1–3 года.

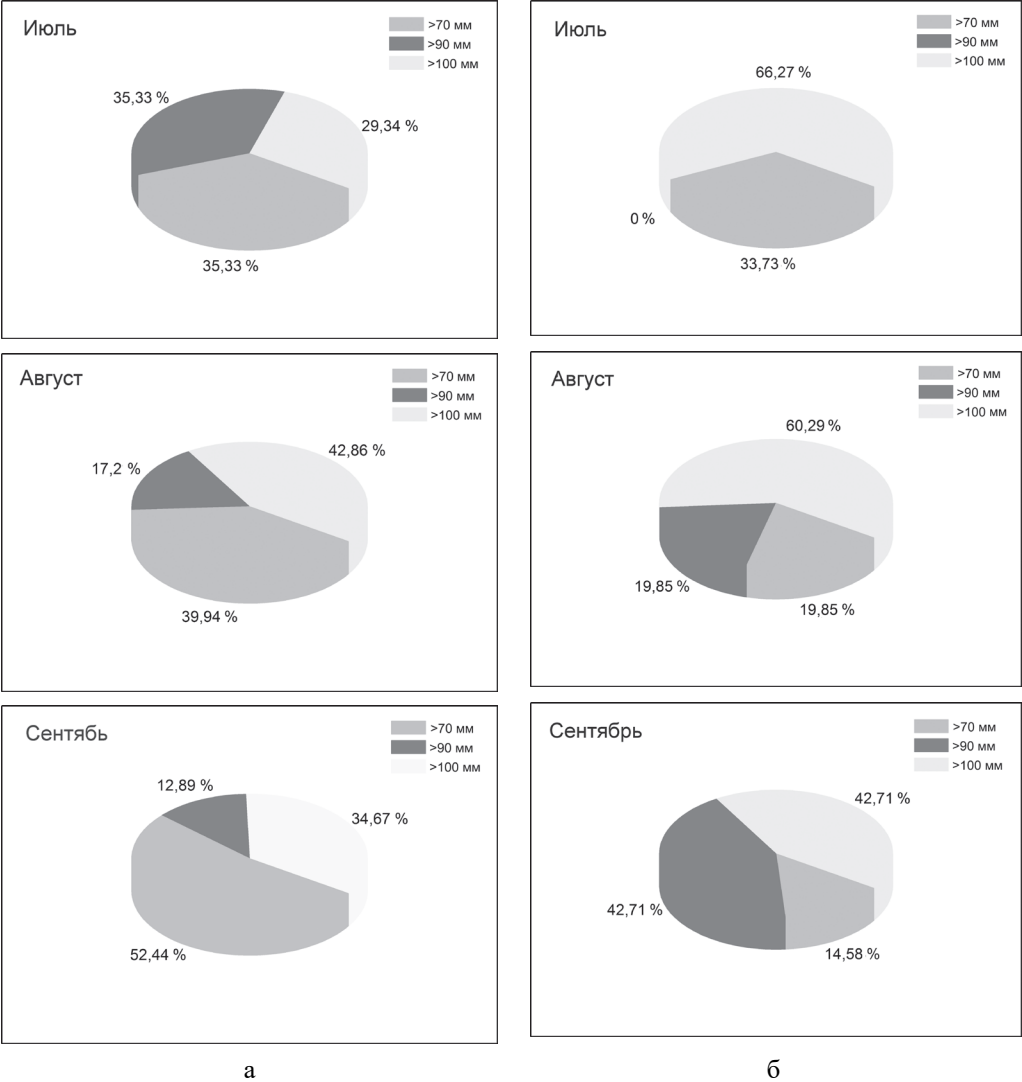


Рис. 2. Процентное распределение суточных максимумов осадков, превышающих 70 мм, *а*, с наложением случаев активизации ЭГП, *б* (1946–2019 гг., июль–сентябрь)

² Справочно-информационный портал «Погода и климат». 2019. – <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 18.03.2020).

С 1969 по 2019 г. на территории Приморья зафиксировано 5 случаев, во время которых количество выпавших осадков превысило 200 мм: тайфуны Ирвинг (18.08.1979) – 200 мм, Джуди (25–30.07.1989) – 140–375 мм, Робин (13–15.07.1990 г.) – 244 мм, Мелисса (сентябрь 1994 г.) – 345 мм, тропический циклон³ (7–10.08.2001 г.) – 232 мм.

Наиболее крупный для Приморского края экономический ущерб от всего комплекса опасных процессов, вызванных дождями (наводнения, подтопления, оползни, обвалы, сели и т.д.), был нанесен тайфунами Джуди (25–30.07.1989) – 1 млрд 500 млн руб., Робин (13–15.07.1990 г.) – 1 млрд 200 млн руб., тропическим циклоном (7–10.08.2001) – 1 млрд 275 млн руб. и тайфуном Болавен (28–29.08.2012 г.) – 1 млрд руб. Наибольшие экономические потери для Владивостока принес тропический циклон (07–10.08.2001) – ущерб составил более 1 млрд 275 млн руб.^{4,5}

В результате выхода тропических циклонов и тайфунов, как правило, происходило сильное переувлажнение грунтов, что впоследствии приводило к сходу многочисленных оползневых и селевых масс. Оползневые и селевые отложения повреждали здания и сооружения, образовывали завалы на полотне автомобильных и железных дорог, разрушали сооружения инженерной защиты. Ущерб, вызванный сходом оползней и селей, был как прямым – разрушение и повреждение объектов и инфраструктуры, так и косвенным, связанным с остановкой движения транспорта, работы предприятий и т.д.⁶

Общий ущерб, вызванный прохождением над территорией Приморского края циклона 27–28.08.2019 г., составил около 1,5 млрд руб. Ущерб, причиненный г. Владивосток, оценен в 100 млн руб., что в 10 раз меньше ущерба, нанесенного городу циклоном 2001 г.⁷

Таким образом, сумма ущерба от самых крупных тайфунов и тропических циклонов за 1989–2019 гг. составляет около 75 млрд руб. Анализ данных показывает, что массовое проявление ЭГП возможно при суточных максимумах осадков, превышающих 70 мм, а период повторяемости катастрофического формирования ЭГП, спровоцированных осадками, составляет 1–3 года.

Активизация и последствия ЭГП 27–28.08.2019 г.

Август 2019 г. оказался самым дождливым за весь период наблюдений за осадками в Приморье с 1881 г. Сумма осадков на конец месяца составила 534 мм (343 % от нормы)⁸. В период, предшествующий выходу циклона 27–28.08.2019 г. в г. Владивосток, суммарное количество осадков от дождя с начала августа составило 322 мм. Сумма выпавших осадков за рассматриваемое явление составила 159,4 мм. Таким образом, наложение избыточной влаги, принесенной дождями 27–28.08.2019 г. на предварительно переувлажненные склоны, стало, по всей видимости, причиной активного формирования оползней и селей в пределах урбанизированной территории. Был причинен ущерб городской инфраструктуре, а также отмечены случаи угрозы жизни людей.

³ История тайфунов и мощных циклонов на Дальнем Востоке. Маглипогода. 2019. – <https://maglipogoda.ru/istoriya-taifunov-i-moshhnykh-ciklonov-na/> (дата обращения: 18.03.2020).

⁴ Будет как в 2001 году: Владивостоку пророчат самый худший сценарий. Primpress. 2019. – <https://primpress.ru/article/43057> (дата обращения: 22.05.2020).

⁵ Стихийные явления в Приморье. Примпогода. 2007. – https://primogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/stihijnye_yavleniya_v_primore (дата обращения: 18.03.2020).

⁶ Прокопьяк Д. История губительной стихии // Коммунар (г. Уссурийск). 2018. – <http://kommunar.info/sobytiya/aktualno/1176-istoriya-gubitelnoj-stikhii.html> (дата обращения: 18.03.2020).

⁷ Предварительный ущерб от паводков в Приморье составил 1,5 млрд рублей. 2019. – <https://www.newsru.com/russia/17sep2019/highwaterprimor.html> (дата обращения: 18.03.2020).

⁸ Справочно-информационный портал «Погода и климат». 2019. – <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 18.03.2020).

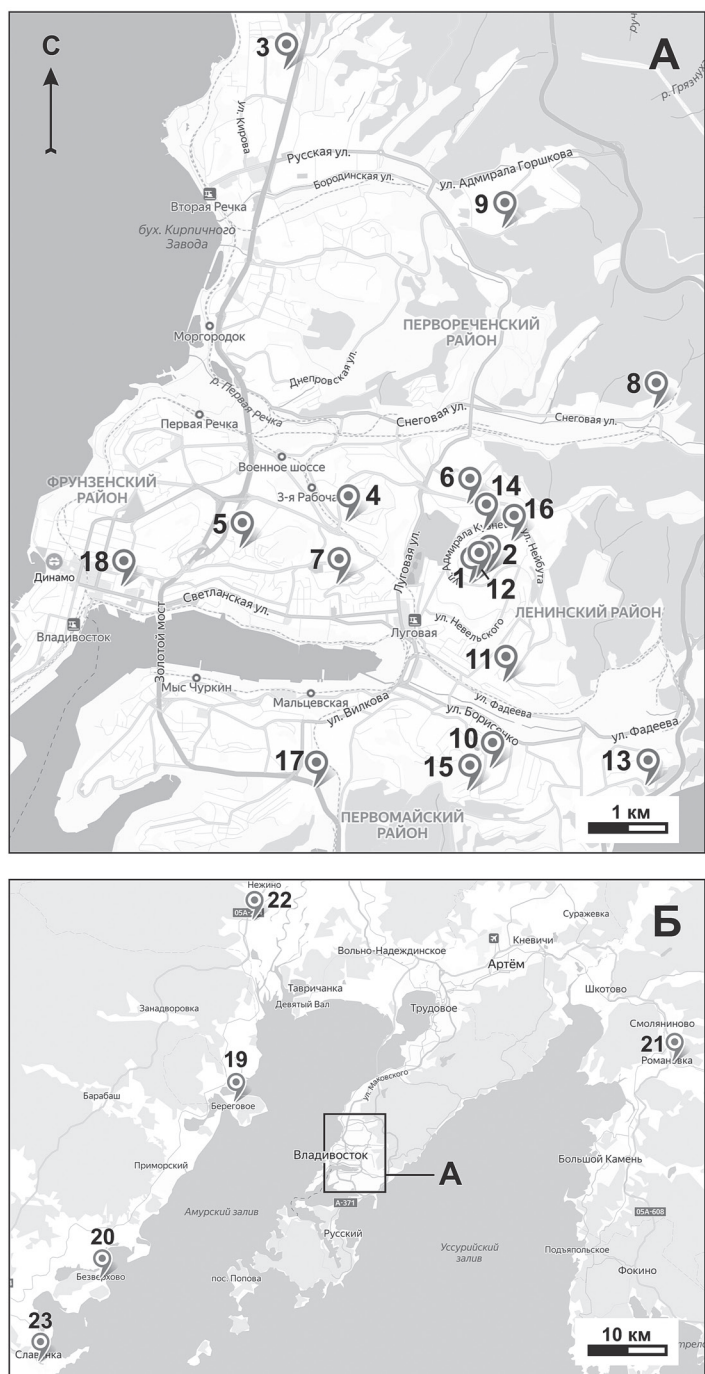


Рис. 3. Карта событий (грязевые потоки и оползни).
 А – г. Владивосток: 1 – ул. Адмирала Кузнецова, 80 А; 2 – ул. Ладыгина, 17–19 (склон напротив домов); 3 – проспект Столетия, 153 (подпорная стена); 4 – ул. Тобольская, 11 (подпорная стена во дворе дома); 5 – ул. Толстого, 23, стр. 3 (подпорная стена вдоль дороги); 6 – ул. Юмашева, 20 (подпорная стена вдоль дома); 7 – ул. Тунгусская, 39 (фото А. Романовой); 8 – ул. Снеговая, 64; 9 – между домами по ул. Анны Щетининой, 9 и 15; 10 – ул. Сафонова, 24; 11 – ул. Ватутина, 4; 12 – ул. 5-я Террасная, 38; 13 – ул. Добровольского, 11; 14 – ул. Адмирала Кузнецова, 52; 15 – ул. Нарвская, 6; 16 – ул. Ладыгина, 11; 17 – ул. Геросв-Тихоокеанцев; 18 – ул. Почтовая, 8.
 Б – Приморский край: 19 – п-ов Песчаный; 20 – пос. Безверхово, ул. Советская, 8; 21 – грязевой сель на магистральном участке железной дороги у с. Романовка (Шкотовский район); 22 – размытые участки Хасанской ветки Барсовая – Приморская и в районе пос. Виневитино; 23 – пос. Славянка

По данным обследований и откликов, собранных от населения на информационных ресурсах социальной сети (Instagram, Telegram, WhatsApp и др.)⁹, на территории г. Владивосток зарегистрировано более 30 случаев схода оползней, обвалов и селей на антропогенно измененных склонах. Также сход оползней зарегистрирован жителями на территориях других населенных пунктов Приморья (пос. Славянка, пос. Безверхово, пос. Песчаный и др.) (рис. 3).

Интерполяция осадков по данным метеостанций¹⁰ на сопредельной с Владивостоком территории, выполненная за явление 27–28.08.2019 г., показала, что наибольшее количество выпавших осадков отмечено метеостанциями, расположенными на п-ове Муравьева Амурского, что в общих чертах согласуется с данными об активизации селей и оползней.

В качестве примера рассмотрим наиболее типичные случаи формирования оползней в г. Владивосток (см. таблицу, рис. 4, 5). Подавляющее большинство зафиксированных оползней и селей сформировалось из антропогенных насыпных грунтов. В отдельных случаях на участке формирования оползней уклоны склонов составляли 12–15°, что говорит об исключительной обводненности грунтов в период отрыва оползневых тел. Определенный по данным маршрутных наблюдений суммарный объем сошедших грунтовых масс составил 3290 м³. Надо отметить, что речь идет о 18 случаях, общий объем оползней и селей, сошедших за явление 27–28.08. 2019 г., значительно больше.

Типичные случаи формирования оползней в г. Владивосток¹¹¹²

№ п/п	l, м	h _{ср} , м	ΣV, м ³	Ущерб
1	30	0,2	100	Повреждены два автомобиля, частичный завал автомобильной дороги
2	60	0,7	600	Повреждены автомобили, частичный завал автомобильной дороги
3	15	2	150	Разрушена подпорная стена, частичный завал автомобильной дороги
4	15	0,5	150	Сильно повреждены четыре автомобиля, еще у нескольких – различные повреждения. Пострадал человек ¹¹
5	6	0,5	30	Частичный завал автомобильной дороги
6	70	0,5	400	-«-
7	10	0,3	10	-«-
8	30	0,5	150	Разрушена подпорная стена, частичный завал автомобильной дороги, повреждены два автомобиля
9 (0*)	30	2	500	Завал придомовой территории, разрушение инфраструктуры
10 (8*)	30	2,5	1200	Разрушена подпорная стена (блокировала входные двери в жилом здании), завал придомовой территории. Пострадал человек ¹²

* Соответствует номеру на рис. 3.

Примечание. l, м – ширина зоны отрыва, h_{ср}, м – средняя мощность оторвавшегося слоя, ΣV, м³ – суммарный объем сошедшего материала.

⁹ Ущерб от августовских паводков составил около миллиарда рублей. РИА «Восток-Медиа». 2019. – <https://vostokmedia.com/news/society/12-09-2019/uscherb-ot-avgustovskih-pavodkov-v-primorie-sostavil-okolo-milliarda-rubley> (дата обращения: 18.03.2020).

¹⁰ Справочно-информационный портал «Погода и климат». 2019. – <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 18.03.2020).

¹¹ Прокопьяк Д. История губительной стихии // Коммунар (г. Уссурийск). 2018. – <http://kommunar.info/sobytiya/aktualno/1176-istoriya-gubitelnoj-stikhii.html> (дата обращения: 18.03.2020).

¹² Мельникова А. «Судьба уберегла» – подпорная стенка во Владивостоке едва не убила девушку // Комсомольская Правда онлайн. 2019. – <https://www.dv.kp.ru/online/news/3587031/> (дата обращения: 18.03.2020).



Рис. 4. Оползни на территории г. Владивосток: а – ул. Тобольская, 11; б – ул. Сафонова, в – ул. Юмашева, 20. Фото ООО «ВЛ Новости» и А.А. Орехова

Самые крупные оползни и сели вследствие циклона 27–28.08.2019 г. отмечены за пределами территории г. Владивосток. Так, в пос. Безверхово из-за сильных дождей сошли три селевых потока, один из которых, сформировавшийся на склоне высотой 15 м и уклоном 15° , отличался наибольшей мощностью¹³. Отрыв произошел ниже полотна автомобильной дороги, средняя высота стенки срыва составила 1,5 м. Оползневое тело, сильно перенасыщенное водой, прошло 70 м и ударило по двухэтажному дому. Высота фронта оползня составила 3 м, высота заплеска, определенная по следам на доме, достигала 6 м

¹³ В Приморском крае селевым потоком унесло в море сторожа и домики. PrimaMedia. 2019. – <https://primamedia.ru/news/847973/> (дата обращения: 18.03.2020).



Рис. 5. Оползни на территории г. Владивосток: а, в – проспект Столетия, 153; б – ул. Ладыгина, 17–19; г – ул. Снеговая, 64. Фото ООО «Прима Медиа» и А.А. Орехова

(рис. 6). В результате удара на фасаде были выбиты окна и двери. Оползневые массы заполнили три комнаты и лестничную площадку. Во дворе дома было повреждено 5 автомобилей. Потеряв большую часть своей твердой составляющей, оползень трансформировался в грязевой селя, который прошел узкой полосой (до 4 м) еще 100 м до морского берега, неся с собой части деревьев, построек. Средняя высота потока составляла 1,0 м. Был причинен ущерб полотну автомобильной дороги, огородам, дачным домикам и хозяйственным постройкам. Поток унесло машины за несколько десятков метров от дома. Суммарный объем сошедшего оползня и селя, по нашим оценкам¹⁴, составил 15 000 м³.

Также на протяжении нескольких последующих дней из-за большой обводненности грунтов на территории Приморского края фиксировались единичные случаи схода оползней и селей. Склоновый селевой поток сошел на магистральный участок железной дороги в районе пос. Романовка (30.08.2019 г.). В результате схода селя были завалены железнодорожные пути. Мощность селевых отложений составляла до 0,5 м. Суммарный объем конуса выноса селя составил примерно 400 м³. Грязевой поток замыл полотно железной дороги на протяжении 20 м (рис. 6). Был блокирован проезд железнодорожных составов. В этот же день зафиксирован случай выхода селевого потока на железнодорожные пути участка Хасанской ветки (Барсовая – Приморская). В результате схода селевого потока железнодорожное полотно было замыто на ширину 30 м, мощность отложений достигала 0,7 м. Объем сошедшего селя оценивается в 600 м³. Сход селевого потока спровоцировал длительную остановку движения поездов на данном участке¹⁵.

На основании результатов исследования можно сделать вывод о том, что активизация ЭГП на территории Приморского края и г. Владивосток происходит при выпадении более 70 мм осадков в виде дождя в сутки. За 100 лет метеорологических наблюдений

¹⁴ В Безверхово камнями и землей засыпало машины и двери в подъезды. VL.ru. 2019. – <https://www.newsvl.ru/society/2019/08/28/183390/#gallery5> (дата обращения: 18.03.2020).

¹⁵ Сель сошел на железную дорогу возле села Романовка. «Вести: Приморье». 2019. – <https://vestiprim.ru/news/prtnews/80212-sel-soshel-na-zheleznuyu-dorogu-vozhle-sela-romanovka.html> (дата обращения: 18.03.2020).



Рис. 6. Склоновый селевый поток, сошедший на магистральный участок железной дороги в районе пос. Романовка, 30.08.2019 г. (а, б). Дом на ул. Советская в пос. Безверхово, заваленный грязевым селем, август 2019 г. (в, г). Фото ООО «ВЛ Новости»

зафиксировано 66 таких случаев. Однако достоверные данные о формировании оползней, селей, обвалов и ущерба от них имеются лишь за 1946–2019 гг. В первую очередь это связано с отсутствием наблюдений за ЭГП и небольшой степенью урбанизации территории Приморского края в предшествующие этому периоду годы.

Исходя из результатов исследования территории г. Владивосток и его исторической застройки с учетом всех факторов (природно-климатических, инженерно-геологических) можно заключить, что массовая активизация ЭГП при прохождении тайфунов в основном обуславливается деятельностью человека. В городе имеется большое количество перемещенных техногенных и антропогенных грунтов. Мощность этих грунтов превышает

мощность естественных отложений, что связано с геологией территории. Естественные грунты зачастую являются поверхностью скольжения оползней и границей формирования потенциальных селевых массивов. При выходе глубоких циклонов, сопровождающихся сильными осадками, которые накладываются на осадки предшествующего периода, грунты в потенциальных селевых и оползневых массивах переходят в состояние неустойчивого равновесия, связанное с их значительным водонасыщением. Эти грунты первыми вовлекаются в ЭГП, воздействуя на более устойчивые участки склонов.

Кроме того, в городе большое количество «подрезанных» склонов разной высоты с углами откоса от 10 до 50°. При ливневых осадках в летне-осенний период происходит концентрированный сброс дождевых вод на эти склоны вдоль дорожного полотна. Склоны укреплены подпорными стенками различных конструкций, которые в большей части находятся в аварийном состоянии. При интенсивном увлажнении грунты, находящиеся под этими стенками, переходят в текучее состояние, что увеличивает опасность формирования оползней и обвалов в пределах городской черты.

Выводы

Тайфуны и ливневые осадки наносят значительный ущерб хозяйству и населению Приморского края вследствие наводнений и массовой активизации ЭГП. К сожалению, вычленив из общего ущерба потери, вызванные ЭГП, в настоящее время не представляется возможным. Нами впервые приводятся данные экспертных оценок по материалам СМИ об ущербах для Приморского края, приведенные к долларовому эквиваленту по курсу времени события. Суммы ущерба при катастрофических событиях, охватывающих большую часть Приморья, составляют от 100 до 200 млн долл. США. Общая сумма ущерба от самых крупных тайфунов и тропических циклонов за 1989–2019 гг. достигает почти 1 млрд долл. США.

В условиях уплотнения городских застроек Приморского края ущерб от ЭГП, вызванных ливневыми осадками, в последующие годы, по всей видимости, будет возрастать. Результаты, полученные в настоящей работе, призваны дать объективную картину характера проявления ЭГП в пределах урбанизированных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генсировский Ю.В., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Гринь Н.Н., Степнова Ю.А. Интенсификация развития экзогенных геодинамических процессов в районах размещения крупных линейных объектов, связанная с изменениями характеристик грунтов // Геодинамика и тектонофизика. 2019. Т. 10, № 3. С. 697–714.
2. Голозубов В.В., Желдак М.В., Крук Н.Н., Касаткин С.А. Эпизоды аномально высокой интенсивности тектонических дислокаций // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 1. С. 3–12.
3. Короткий А.М., Коробов В.В., Шорникова В.В., Скрыльчик Г.П. Опасные природные процессы и их влияние на устойчивость геосистем (юг Дальнего Востока) // Вестн. ДВО РАН. 2005. № 5 (123). С. 42–58.
4. Котляков В.М., Десинов Л.В., Долгов С.В. и др. Наводнение 6–7 июля 2012 года в городе Крымске // Изв. РАН. Серия геогр. 2012. № 6. С. 80–88.
5. Мальнева И.В. Природные катастрофы, связанные с опасными геологическими процессами, и их прогнозирование // Жизнь Земли. 2017. Т. 39, № 1. С. 12–25.
6. Рыбальченко С.В. Селевые процессы на склонах морских террас южного Сахалина // Вестн. ДВО РАН. 2013. № 3. С. 52–59.
7. Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л., Колтерманн К.П. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность // Лед и снег. 2013. Т. 53, № 2. С. 121–128.
8. Тащи С.М., Мясников Е.А. Геолого-геоморфологические системы территории агломерации Владивосток–Артем: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. 181 с.
9. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д., Голозубов В.В., Гонохова Н.Г. Геология и полезные ископаемые Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 1996. 61 с.

10. Шестернина В.В. Геологическая среда города Уссурийска и развитие опасных геологических процессов // Современные проблемы регионального развития: тез. докл. VII Всерос. науч. конф., Биробиджан, Институт комплексного анализа региональных проблем. Биробиджан, 2018. С. 90–92.
11. Cogan J., Gratchev I., Wang G. Rainfall-induced shallow landslides caused by ex-Tropical Cyclone Debbie, 31st March 2017. *Landslides*. 2018. Vol. 15. P. 1215–1221.
12. Perov V., Chernomorets S., Budarina O., Savernyuk E., Leontyeva T. Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Natural Hazards*. 2017. Vol. 88, N 1. P. 199–235.
13. Rosi A., Canavesi V., Segoni S., Dias Nery T., Catani F., Casagli N. Landslides in the mountain region of Rio de Janeiro: a proposal for the semi-automated definition of multiple rainfall thresholds. *Geosciences*. 2019. Vol. 9, N 203. P. 1–15.
14. Zabuski L., Świdziński W., Kulczykowski M., Mrozek T., Laskowicz I. Monitoring of landslides in the Brda river valley in Koronowo (Polish Lowlands). *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 73. P. 8609–8619.